

10/SD1175

PCT/DE 02/04675

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 12 MAR 2003

WIPO

PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

102 00 861.2

Anmeldetag:

11. Januar 2002

Anmelder/Inhaber:

Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung:

Magnetresonanzgerät mit einem Wirbelstrom-
erzeuger

IPC:

G 01 R 33/385

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. Februar 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Magnetresonanzgerät mit einem Wirbelstromerzeuger

5 Die Erfindung betrifft ein Magnetresonanzgerät.

Die Magnetresonanztechnik ist eine bekannte Technik unter
anderem zum Gewinnen von Bildern eines Körperinneren eines
Untersuchungsobjekts. Dazu werden in einem Magnetresonanzge-
10 rät einem statischen Grundmagnetfeld, das von einem Grund-
feldmagneten erzeugt wird, schnell geschaltete Gradientenfel-
der überlagert, die von einem Gradientenspulensystem erzeugt
werden. Ferner umfasst das Magnetresonanzgerät ein Hochfre-
quenzsystem, das zum Auslösen von Magnetresonanzsignalen
15 Hochfrequenzsignale in das Untersuchungsobjekt einstrahlt und
die erzeugten Magnetresonanzsignale aufnimmt, auf deren Basis
Magnetresonanzbilder erstellt werden.

Ein supraleitender Grundfeldmagnet umfasst beispielsweise
20 einen im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Heliumbehälter, in
dem supraleitende Spulen angeordnet sind, die von dem sie
umgebenden flüssigen Helium gekühlt werden. Der Heliumbehäl-
ter ist von einem hohlzylinderförmigen inneren Kälteschild
umschlossen, das wiederum von einem hohlzylinderförmigen äu-
25 ßeren Kälteschild umschlossen ist. Die Kälteschilde bewirkt
dabei, dass möglichst wenig Wärmestrahlung bis zum Heliumbe-
hälter vordringt. Dazu sind die Kälteschilde aus einem gut
wärmeleitenden Metall, beispielsweise Aluminium, ausgebildet.
Die Kälteschilde und/oder der Heliumbehälter werden dabei
30 durch Kryokühler, Kaltgas oder flüssigen Stickstoff auf vor-
gebbaren Temperaturen gehalten. Das äußere Kälteschild ist
schließlich von einem im Wesentlichen hohlzylinderförmigen
Vakuumbehälter umschlossen. Die Behälter sind dabei in der
Regel aus unmagnetischem rostfreien Stahl ausgebildet. Der
35 Heliumbehälter ist mit dem inneren Kälteschild, die beiden
Kälteschilde sind untereinander und das äußere Kälteschild
ist mit dem Vakuumbehälter schlecht wärmeleitend auf einen

gegenseitigen Abstand von einigen Millimetern bis zu wenigen Zentimetern verbunden.

In der zylinderförmigen Höhlung des Vakuumbehälters ist ein
5 hohlzylinderförmiges Gradientenspulensystem, beispielsweise
durch Verkeilen in der Höhlung, befestigt. Zum Erzeugen von
Gradientenfeldern sind in Gradientenspulen des Gradientenspu-
lensystems entsprechende Ströme einzustellen. Dabei betragen
die Amplituden der erforderlichen Ströme bis zu mehreren 100
10 A. Die Stromanstiegs- und -abfallraten betragen bis zu mehre-
ren 100 kA/s. Auf diese sich zeitlich verändernden Ströme in
den Gradientenspulen wirken bei vorhandenem Grundmagnetfeld
in der Größenordnung von 1 T Lorentzkräfte, die zu Schwingun-
gen des Gradientenspulensystems und damit zu an sich uner-
15 wünschten akustischen Geräuschen und Bildqualitätsstörungen
führen.

Beispielsweise in der DE 44 32 747 A1 ist eine prinzipielle
Verringerung von Schwingungen des Gradientenspulensystems
20 durch eine aktive Maßnahme beschrieben. Dazu ist in oder am
Gradientenspulensystem eine Einrichtung, insbesondere bein-
haltend elektrostriktive Elemente, angeordnet. Mit dieser
Einrichtung können Kräfte erzeugt werden, die den Schwingun-
gen des Gradientenspulensystems entgegenwirken, so dass ein
Verformen des Gradientenspulensystems im wesentlichen verhin-
25 dert wird. Die elektrostriktiven Elemente werden dazu durch
eine an sie angelegte elektrische Spannung entsprechend ge-
steuert.

30 Das Gradientenspulensystem ist in der Regel von leitfähigen
Strukturen umgeben, in denen durch die geschalteten Gradien-
tenfelder Wirbelströme induziert werden. Beispiele für derar-
tige leitfähige Strukturen sind der Vakuumbehälter und/oder
die Kälteschilde des supraleitenden Grundfeldmagneten, ein
35 Hochfrequenzschirm, beispielsweise aus einer Kupferfolie, und
eine Antenne des Hochfrequenzsystems. Die mit den Wirbelströ-
men einhergehenden Felder sind unerwünscht, weil sie die Gra-

dientenfelder ohne gegensteuernde Maßnahmen schwächen und in ihrem zeitlichen Verlauf verzerren, was zur Beeinträchtigung der Qualität von Magnetresonanzbildern führt.

5 Das Verzerren eines Gradientenfeldes infolge der Wirbelstromfelder kann bis zu einem gewissen Grad durch ein entsprechendes Vorverzerren einer das Gradientenfeld steuernden Größe kompensiert werden. Zum Kompensieren ist die steuernde Größe dabei derart zu filtern, dass die bei nicht-vorverzerrem

10 Betreiben der Gradientenspule auftretenden Wirbelstromfelder, durch das Vorverzerren aufgehoben werden. Zum Filtern ist ein Filternetzwerk einsetzbar, dessen Größen durch Zeitkonstanten und Koeffizienten bestimmt sind, die beispielsweise mit einem Verfahren entsprechend der DE 198 59 501 C1 ermittelbar sind.

15

Durch einen Einsatz eines aktiv geschirmten Gradientenspulensystems sind ferner die auf einer vorgebbaren Hüllfläche, die beispielsweise durch den inneren Zylindermantel des 80-K-Kälteschildes des supraleitenden Grundfeldmagneten verläuft,

20 durch die bestromten Gradientenspulen induzierten Wirbelströme reduzierbar.

Des weiteren ist beispielsweise aus der DE 198 43 905 A1 ein mit Trennschlitz versehener Hochfrequenzschirm für ein Magnetresonanzgerät bekannt, wobei der Hochfrequenzschirm unter anderem derart geschlitzt ist, dass die von den Gradientenfeldern im Hochfrequenzschirm induzierten Wirbelströme möglichst unterdrückt werden.

30 Eine Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Magnetresonanzgerät zu schaffen, bei dem unter anderem an sich unerwünschte Wirbelstromeffekte besser beherrscht werden.

Die Aufgabe wird durch den Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst.

35 Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Gemäß Anspruch 1 ist bei einem Magnetresonanzgerät mit

- einem Grundfeldmagneten zum Erzeugen eines Grundmagnetfeldes,

- wenigstens einem Wirbelstromerzeuger und

5 - wenigstens einer elektrisch leitfähigen Struktur, in der durch den Wirbelstromerzeuger Wirbelströme hervorruftbar sind, so dass auf die Struktur im Grundmagnetfeld Lorentzkräfte wirken,

10 an der Struktur ein Krafterzeuger angebracht, der derart ausgebildet und steuerbar ist, dass mit dem Krafterzeuger den Lorentzkraften entgegenwirkende Kräfte erzeugbar sind, so dass ein Bewegen und Verformen der Struktur verhindert wird.

15 Die Erfindung geht dabei von folgender Erkenntnis aus: Durch die geschalteten Gradientenfelder werden in einer leitfähigen Struktur Wirbelströme induziert, auf die ihrerseits im Grundmagnetfeld Lorentzkräfte wirken, so dass auch die leitfähige Struktur zum Schwingen angeregt wird, was zur Induktion weiterer Wirbelströme und damit einhergehend zu weiteren Schwin-

20 gungen usw. führt. Sobald aber die leitfähige Struktur ins Schwingen gerät, ist eine Bekämpfung dieser Schwingungen nur noch über eine ausgefeilte Sensor-Aktor-Kombination möglich, da diese Schwingungen von einem Resonanzverhalten der leitfähigen Struktur abhängen und durch die weiteren Wirbelströme mitbestimmt werden. Gemäß der Erfindung wird vorgenannte Kom-

25 plexität vermieden, indem an der leitfähigen Struktur ein Krafterzeuger angebracht ist, der derart gestaltet ist, dass er Kräfte erzeugt, die denjenigen Kräften entgegenwirken, die auf die durch die Gradientenfelder erzeugten Wirbelströme in

30 der leitfähigen Struktur wirken. Ein Bewegen und/oder Schwingen der leitfähigen Struktur wird damit von vorneherein verhindert. Dabei ist von Vorteil, dass die Gradientenfelder räumlich konstant sind und direkt mit in den Gradientenspulen fließenden Strömen der einzelnen Gradientenachsen skalierbar

35 sind, so dass die dadurch angeregten Wirbelströme auf exakt vorhersagbaren oder einmal zu messenden Bahnen verlaufen, die gegebenenfalls höchstens unterschiedliche Abklingkurven auf-

weisen. Dies eröffnet ferner die Möglichkeit einer einfachen Ansteuerung der Kraftherzeuger, basierend auf einem zeitlichen Stromverlauf in den Gradientenspulen, wobei insbesondere ein Anteil zur wirbelstromkompensierenden Vorverzerrung einem Anteil und Zeitverlauf der Wirbelströme entspricht.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus nachfolgender Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Zeichnung. Dabei zeigen:

Figur 1 einen Längsschnitt durch ein Magnetresonanzgerät mit einem Gradientenspulensystem und einem Kraftherzeuger,

Figur 2 ausschnittsweise einen detaillierten Längsschnitt durch den Kraftherzeuger in einer ersten Ausführungsform,

Figur 3 ausschnittsweise einen detaillierten Längsschnitt durch den Kraftherzeuger in einer zweiten Ausführungsform,

Figur 4 eine perspektivische Ansicht des Gradientenspulensystems mit vier Ringspulen zum Erfassen von Magnetfeldern des Gradientenspulensystems und

Figur 5 ausschnittsweise eine perspektivische Ansicht des Gradientenspulensystems mit einer flächendeckenden Anordnung von Ringspulen.

Die Figur 1 zeigt als ein Ausführungsbeispiel der Erfindung einen Längsschnitt durch ein Magnetresonanzgerät. Dabei umfasst das Magnetresonanzgerät einen im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Grundfeldmagneten 100, mit dem wenigstens innerhalb eines Abbildungsvolumens 150 des Magnetresonanzgeräts ein möglichst homogenes statisches Grundmagnetfeld erzeugbar ist. Der Grundfeldmagnet 100 umfasst einen im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Heliumbehälter 110 aus unmagnetischem rostfreiem Stahl, in dem auf einem Wicklungsträger 112 supra-

leitende Solenoidspulen 113 angeordnet sind, die von dem sie umgebenden flüssigen Helium auf 4,2 K gekühlt werden.

Der Heliumbehälter 110 ist von einem hohlzylinderförmigen 20-K-Kälteschild 120 umschlossen, das wiederum von einem hohlzylinderförmigen 80-K-Kälteschild 130 umschlossen ist. Die Kälteschilde 120 und 130 bewirken dabei, dass möglichst wenig Wärmestrahlung von außen bis zum Heliumbehälter 110 vordringt und sind aus einem gut wärmeleitenden Metall ausgeführt.

Durch Kryokühler, Kaltgas oder flüssigen Stickstoff werden das 20-K-Kälteschild 120 auf einer Temperatur von 20 K und das 80-K-Kälteschild 130 auf einer Temperatur von 80 K gehalten.

Das 80-K-Kälteschild 130 ist schließlich von einem im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Vakuumbehälter 140 aus unmagnetischem rostfreien Stahl umschlossen. Dabei sind der Heliumbehälter 110 mit dem 20-K-Kälteschild 120, die beiden Kälteschilde 120 und 130 untereinander und das 80-K-Kälteschild 130 mit dem Vakuumbehälter 140 schlecht wärmeleitend und auf gegenseitigen Abstand von einigen Millimetern bis wenigen Zentimetern, beispielsweise über dünne Glasfaserstäbe, verbunden.

Ferner umfaßt das Magnetresonanzgerät ein Gradientenspulensystem 200, das Gradienten- und zugehörige Abschirmspulen beinhaltet und dem eine Gradientensteuereinheit 250 zugeordnet ist. Dabei ist das im Wesentlichen hohlzylinderförmige Gradientenspulensystem 200 in der zylinderförmigen Höhlung des Vakuumbehälters 140 durch ein Verkeilen befestigt.

Zum Steuern von Strömen in den Spulen ist das Gradientenspulensystem 200 mit der Gradientensteuereinheit 250 verbunden. Mit dem bestromten Gradientenspulensystem 200 sind innerhalb des Abbildungsvolumens 150 dem Grundmagnetfeld schnell schaltbare magnetische Gradientenfelder überlagerbar.

Dabei umfasst das Gradientenspulensystem 200 von innen nach außen folgende hohlzylinderförmige Bereiche 210 bis 245, die konzentrisch zueinander angeordnet sind: Ein erster hohlzylinderförmiger Bereich 210 umfasst eine x-Gradientenspule zum Erzeugen eines x-Gradientenfeldes mit einem Gradienten kollinear zur x-Achse eines kartesischen Koordinatensystems. Ein zweiter hohlzylinderförmiger Bereich 220 beinhaltet eine y-Gradientenspule zum Erzeugen eines y-Gradientenfeldes mit einem Gradienten kollinear zur y-Achse. Die x- und die y-Gradientenspulen umfassen dabei jeweils vier sattelförmig ausgebildete Teilspulen. Ein dritter hohlzylinderförmiger Bereich 240 umfasst eine Kühleinrichtung, unter anderem zum Kühlen der Gradientenspulen. Ein vierter hohlzylinderförmiger Bereich 230 umfasst eine z-Gradientenspule zum Erzeugen eines z-Gradientenfeldes mit einem Gradienten kollinear zur z-Achse, wobei die z-Gradientenspule beispielsweise zwei Solenoid-Teilspulen umfasst.

Ein fünfter hohlzylinderförmiger Bereich 245 umfasst aktive und/oder passive Shimvorrichtungen und eine weitere Kühleinrichtung. In einem sechsten hohlzylinderförmigen Bereich 235 ist eine der z-Gradientenspule zugeordnete z-Abschirmspule angeordnet. Ein siebter hohlzylinderförmiger Bereich 215 umfasst eine x-Abschirmspule, die der x-Gradientenspule zugeordnet ist. Schließlich umfasst ein achter hohlzylinderförmiger Bereich 225 eine y-Abschirmspule, die der y-Gradientenspule zugeordnet ist.

Die den Gradientenspulen zugehörigen Abschirmspulen sind dabei derart gestaltet und bestrombar, dass die mit den Abschirmspulen erzeugbaren Magnetfelder die mit den zugehörigen Gradientenspulen erzeugbaren Magnetfelder auf dem inneren Zylindermantel des 80-K-Kälteschildes 130 wenigstens derart kompensieren, dass im inneren Zylindermantel durch das bestromte Gradientenspulensystem 200 gegenüber einem Gradientenspulensystem ohne Abschirmspulen weniger Wirbelströme induziert werden.

Damit die geschalteten Gradientenfelder im Abbildungsvolumen 150 nicht durch Wirbelstrominduktion und damit einhergehende Wirbelstrom-Magnetfelder verzerrt werden, wird in der Gradientensteuereinheit 250 mit entsprechend vorverzerrten Steuergrößen für die Ströme der Gradienten- und zugehörigen Abschirmspulen gearbeitet. Dazu weist die Gradientensteuereinheit 250 eine entsprechende Vorverzerrungseinheit 260 auf, die für jede der drei Gradientenachsen x, y und z eine eigene Vorverzerrungsuntereinheit 261, 262 und 263 aufweist.

Des Weiteren umfasst das Magnetresonanzgerät zum Einstrahlen von Hochfrequenzsignalen in ein im Abbildungsvolumen 150 gelagertes Untersuchungsobjekt sowie zum Aufnehmen von Magnetresonanzsignalen aus dem Untersuchungsobjekt eine Antenne 310. Dabei ist zum Abschirmen von äußeren Störeinflüssen zwischen der Antenne 310 und dem Gradientenspulensystem 200 ein Hochfrequenzschirm 320 angeordnet.

Des Weiteren umfasst das Magnetresonanzgerät einen Krafterzeuger 400, der als Hohlzylinder kleiner Wandstärke schichtartig an den inneren Zylindermantel des Vakuumbehälters 140 angefügt ist. Durch die geschalteten Gradientenfelder werden im inneren Zylindermantel des Vakuumbehälters 140 Wirbelströme induziert, auf die im Grundmagnetfeld Lorentzkräfte wirken, so dass ohne gegensteuernde Maßnahmen ein Verformen, Bewegen und/oder Schwingen des inneren Zylindermantels die Folge wäre. Der Krafterzeuger 400 ist dabei derart gestaltet und steuerbar, dass der Krafterzeuger 400 vorgenannten Lorentzkraften entgegengerichtete Kräfte erzeugen kann, so dass das Verformen, Bewegen und/oder Schwingen des inneren Zylindermantels verhindert wird. Für ein entsprechendes Ansteuern des Krafterzeugers 400 ist dem Krafterzeuger 400 eine Krafterzeugersteuereinheit 490 zugeordnet, die mit der Gradientensteuereinheit 250, insbesondere deren Vorverzerrungseinheit 260 verknüpft ist. Dabei ist die Vorverzerrung der Spulenströme zum Steuern des Krafterzeugers 400 nutzbar, da die

Vorverzerrung den genauen Anteil und den Zeitverlauf der Wirbelströme widerspiegelt.

Die Figur 2 zeigt als ein Ausführungsbeispiel der Erfindung
5 ausschnittsweise einen detaillierten Längsschnitt durch den
Krafterzeuger 400 in einer ersten Ausführungsform. Der Kraft-
erzeuger 400 umfasst dabei drei Schichten 410, 420 und 430,
in denen elektrostriktive Fasern 475 oder ganze Bündel derar-
tiger Fasern angeordnet sind. Dabei sind die elektrostrikti-
10 ven Fasern 475 in der Schicht 430 entsprechend einer Ortsver-
teilung der am inneren Zylindermantel des Vakuumbehälters 140
angreifenden Lorentzkkräfte angeordnet, die durch die bestrom-
ten z-Spulen verursacht werden. In den Schichten 420 und 410
sind dahingegen die elektrostriktiven Fasern 475 entsprechend
15 den durch die bestromten x- und y-Spulen verursachten Lo-
rentzkkräfte angeordnet. Mit den elektrostriktiven Fasern 475
ist dabei mit Vorteil eine sehr feine Ortsauflösung erreich-
bar.

20 In anderen Ausführungsformen können anstelle der Fasern 475
auch folienartig, plattenartig und/oder stapelartig ausgebil-
dete, elektrostriktive Elemente, wie auch magnetostriktive
und/oder hydraulische Krafterzeuger eingesetzt werden.

25 Die elektrostriktiven Fasern 475 sind dabei je Schicht 410,
420 und 430 zwischen jeweils zwei Kontaktierungsschichten 415
und 416, 425 und 426 sowie 435 und 436 angeordnet. Zwischen
den Kontaktierungsschichten 426 und 415 sowie 416 und 435
sind elektrisch isolierende Schichten 440 und 445 angeordnet.
30 Zwischen den Kontaktierungsschichten 415 und 416, 425 und 426
sowie 435 und 436 sind elektrische Spannungen anlegbar, die
eine Striktion der elektrostriktiven Fasern 475 und damit
eine Kraft senkrecht zur Oberfläche des inneren Zylinderman-
tels des Vakuumbehälters 140 bewirken.

35

Die elektrischen Spannungen werden dabei von der Krafterzeu-
gersteuereinheit 490 bereitgestellt, wobei die Schicht 420

entsprechend einer Vorverzerrung für die y-Spulen durch die Vorverzerrungsuntereinheit 262, die Schicht 410 entsprechend einer Vorverzerrung für die x-Spulen durch die Vorverzerrungsuntereinheit 261 und die Schicht 430 entsprechend einer Vorverzerrung für die z-Spulen durch die Vorverzerrungsuntereinheit 263 gesteuert werden.

Die Figur 3 zeigt als ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ausschnittsweise einen detaillierten Längsschnitt durch den Krafterzeuger 400 in einer zweiten Ausführungsform. Dabei sind in einer Schicht 450 elektrostriktive Fasern 475 gleichverteilt angeordnet. Die Schicht 450 ist dabei zwischen zwei Kontaktierungsschichten 455 und 456 angeordnet, wobei die beiden Kontaktierungsschichten 455 und 456 in übereinstimmender Weise in Teilkontaktierungen unterteilt sind. Die Teilkontaktierungen sind voneinander isoliert und die Schicht 450 parkettartig bedeckend angeordnet. Dabei bilden jeweils zwei Teilkontaktierungen, die sich bezüglich der Schicht 450 gegenüberliegen ein Paar. Mit der Krafterzeugersteuereinheit 490 ist an jedes der Paare eine elektrische Spannungen anlegbar, wobei für jedes der Paare die Spannung unabhängig von den Spannungen an anderen Paaren einstellbar ist. Damit sind in der Schicht 450 entsprechende Bereiche einer oder mehrerer der elektrostriktiven Fasern 475 unabhängig voneinander und mit unterschiedlichen Striktionen steuerbar.

Gegenüber der ersten Ausführungsform ist mit Vorteil die Schichtdicke des Krafterzeugers 400 reduziert, dafür sind die vielen Teilkontaktierungen separat und in der Regel mit unterschiedlichen Spannungen anzusteuern. Dabei können für ein wirkungsgleiches Ansteuern wie bei der ersten Ausführungsform die Vorverzerrungen der einzelnen Vorverzerrungsuntereinheiten 261, 262 und 263 nicht unmittelbar verwendet werden, sondern sind in der Krafterzeugersteuereinheit 490 zunächst weiterzuverarbeiten und auf die einzelnen Teilkontaktierungen umzusetzen. Für das Weiterverarbeiten sind dabei die prinzipiellen Lorentzkräfte-Ortsverteilungen, die jede der Spulen

auf dem inneren Zylindermantel des Vakuumbehälters 140 hervorruft, beispielsweise durch Messung zu ermitteln und in der Krafterzeugersteuereinheit 490 zu speichern. Des Weiteren kann bei der zweiten Ausführungsform aufgrund der vielen
5 Teilkontaktierungen örtlich unterschiedlichen Abklingzeiten von Wirbelströmen, die in unterschiedlichen Bereichen des inneren Zylindermantels vorherrschen, durch ein entsprechendes Ansteuern Rechnung getragen werden.

10 In anderen Ausführungsformen sind die erste und die zweite Ausführungsform miteinander kombiniert. So kann beispielsweise vorgenannten unterschiedlichen Abklingzeiten bei der ersten Ausführungsform dadurch Rechnung getragen werden, dass
15 auch die Kontaktierungsschichten 415, 416, 425, 426, 435 und 436 in wenigstens einige Teilkontaktierungen unterteilt werden.

Das zusätzliche Gewicht des Krafterzeugers 400 verändert die im inneren Zylindermantel des Vakuumbehälters 140 auftretenden Lorentzkräfte nicht und die dünnen leitfähigen Kontaktierungsschichten 415, 416, 425, 426, 435, 436, 455 und 456 des
20 Krafterzeugers 400, die ihrerseits eine für Wirbelstrominduktion leitfähige Struktur darstellen, verändern allenfalls eine Amplitude der am inneren Zylindermantel zu kompensierenden Lorentzkräfte.
25

Für eine Feinabstimmung in der Krafterzeugersteuereinheit 490 können zusätzlich zu den gespeicherten Informationen und den Informationen aus der Vorverzerrungseinheit 260 auch die von
30 den einzelnen Gradienten- und zugehörigen Abschirmspulen erzeugten, wirbelstromverursachenden Magnetfelder wenigstens punktuell gemessen und als skalierende Größe der Krafterzeugersteuereinheit 490 zugeführt werden. Dabei ist es ausreichend, lediglich die radial gerichtete Komponente der Magnetfelder zu erfassen, da nur diese Wirbelströme hervorruft.
35 Dabei sind von diesen so angeregten Wirbelströmen nur die Ströme in Umfangsrichtung wesentlich, da nur auf diese die

Lorentzkräfte in radialer Richtung wirken, was ohne die gegensteuernde Maßnahme des Kraftherzeugers 400 zum Schwingen des Vakuumbehälters 140 führen würde und damit Lärm und weitere, sekundäre Wirbelströme verursachen würde.

5

Die Figur 4 zeigt eine perspektivische Ansicht des Gradientenspulensystems 200 mit vier am Gradientenspulensystem 200 befestigten Ringspulen 511, 512, 521 und 522, wobei die Ringspulen 511, 512, 521 und 522 bezüglich der z-Richtung gleichpositioniert, die Ringspulen 511 und 512 in einer y-z-Ebene und die anderen Ringspulen 521 und 522 in einer x-z-Ebene angeordnet sind.

15

Die Ringspulen 511 und 512 sind dabei in einem Bereich des Gradientenspulensystems 200 angeordnet, in dem die y-Spulen aufgrund ihrer Symmetrieeigenschaften unabhängig von ihrem Betriebszustand keine radial gerichtete Magnetfeldkomponente produzieren. Die Ringspulen 521 und 522 sind in einem entsprechenden Bereich der x-Spulen angeordnet. Die vier

20

Ringspulen 511, 512, 521 und 522 sind ausreichend um die radial gerichteten Magnetfeldkomponenten der Gradienten- und zugehörigen Abschirmspulen entsprechend der einzelnen Achsen x, y und z voneinander separierbar zu erfassen. So bedeutet beispielsweise ein gleich großes Signal an allen Ringspulen 511, 512, 521 und 522, dass lediglich die z-Spulen eine radial gerichtete Magnetfeldkomponente produzieren. Sind dagegen die Signale der beiden Ringspulen 511 und 512 unterschiedlich, so bedeutet dies, dass die Differenz auf eine radial gerichtete Magnetfeldkomponente der x-Spulen zurückgeht. Ein

30

Unterschied zwischen den Signalen der beiden Ringspulen 521 und 522 charakterisiert dabei einen von den y-Spulen herrührenden Beitrag.

35

Die Figur 5 zeigt als ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung eine flächendeckende Anordnung von Ringspulen 510 auf der Oberfläche des Gradientenspulensystems 200. Dabei ist jede der Ringspulen 510 beispielsweise entsprechend einer

Teilkontaktierung der Figur 3 angeordnet und jeweils einer der Teilkontaktierungen zugeordnet. Die Ringspulen 510 sind dabei ähnlich den Ringspulen 511, 512, 521 und 522 der Figur 4 lediglich zum Erfassen von radial gerichteten Magnetfeldkomponenten ausgebildet. Mit dem Messsignal einer jeden der Ringspulen 510 ist die jeweils zugehörige Teilkontaktierung ansteuerbar. Eine Ansteuerung auf Basis der Vorverzerrung und ebenso ein Separieren der Magnetfeldkomponenten hinsichtlich den Achsen x, y und z ist damit verzichtbar.

10

In anderen Ausführungsformen können dabei anstelle von Ringspulen andere Sensoren, die sensitiv auf die von den Gradienten- und zugehörigen Abschirmspulen erzeugten Magnetfelder und insbesondere nicht sensitiv auf Vibrationen sind, beispielsweise Hallsonden, eingesetzt werden.

15

In einer wiederum anderen Ausführungsform können die im Zylindermantel des Vakuumbehälters oder in den Kontaktierungsschichten 455 oder 456 auftretenden Wirbelströme direkt erfasst werden und zum Ansteuern des Krafterzeugers 400 in der zweiten Ausführungsform nach Figur 3 verwendet werden. Da dabei ausschließlich die Wirbelströme erfasst und nicht die Magnetfelder der Gradienten- und zugehörigen Abschirmspulen miterfasst werden sollen, können die Wirbelströme, beispielsweise aufgrund ihrer thermischen Wirkung, erfasst werden, wobei die Erfassungsergebnisse in entsprechende elektrische Spannungen für die Teilkontaktierungen umzuwandeln sind.

20
25

Patentansprüche

1. Magnetresonanzgerät mit

- einem Grundfeldmagneten zum Erzeugen eines Grundmagnetfeldes,

- wenigstens einem Wirbelstromerzeuger und

- wenigstens einer elektrisch leitfähigen Struktur, in der durch den Wirbelstromerzeuger Wirbelströme hervorruftbar sind, so dass auf die Struktur im Grundmagnetfeld Lorentzkräfte wirken,

wobei an der Struktur ein Krafterzeuger angebracht ist, der derart ausgebildet und steuerbar ist, dass mit dem Krafterzeuger den Lorentzkräften entgegenwirkende Kräfte erzeugbar sind, so dass ein Bewegen und Verformen der Struktur verhindert wird.

2. Magnetresonanzgerät nach Anspruch 1, wobei eine Steuerung des Krafterzeugers mit einer Steuerung des Wirbelstromerzeugers verbunden ist.

3. Magnetresonanzgerät nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Wirbelstromerzeuger wenigstens eine Spulenordnung zum Erzeugen eines Gradientenfeldes umfasst.

4. Magnetresonanzgerät nach Anspruch 3, wobei eine Steuerung der Spulenordnung eine Vorverzerrungseinheit umfasst, die mit der Steuerung des Krafterzeugers verbunden ist.

5. Magnetresonanzgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Struktur wenigstens Teile eines Vakuumbehälters, eines Kälteschildes und/oder eines Kühlmittelbehälters des Grundfeldmagneten umfasst.

6. Magnetresonanzgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Struktur wenigstens Teile einer Antenne und/oder eines Hochfrequenzschirms umfasst.

7. Magnetresonanzgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
wobei der Krafterzeuger elektrostriktive Elemente umfasst.

5 8. Magnetresonanzgerät nach Anspruch 7, wobei die elektro-
striktiven Elemente räumlich mit einer Dichte entsprechend
einer relativen Dichte der Lorentzkräfte angeordnet sind.

10 9. Magnetresonanzgerät nach einem der Ansprüche 7 oder 8,
wobei die elektrostriktiven Elemente faserartig ausgebil-
det sind.

15 10. Magnetresonanzgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
wobei das Magnetresonanzgerät Sensoren umfasst, mit denen
ein vom Wirbelstromerzeuger erzeugbares Magnetfeld erfassbar
ist.

20 11. Magnetresonanzgerät nach Anspruch 10, wobei die Senso-
ren zum Skalieren und/oder Bestimmen einer Steuerung des
Krafterzeugers mit dem Krafterzeuger verbunden sind.

Zusammenfassung

Magnetresonanzgerät mit einem Wirbelstromerzeuger

- 5 Bei einem Magnetresonanzgerät mit
- einem Grundfeldmagneten zum Erzeugen eines Grundmagnetfeldes,
 - wenigstens einem Wirbelstromerzeuger und
 - wenigstens einer elektrisch leitfähigen Struktur, in der
- 10 durch den Wirbelstromerzeuger Wirbelströme hervorrufbar sind, so dass auf die Struktur im Grundmagnetfeld Lorentzkräfte wirken,
- ist an der Struktur ein Krafterzeuger angebracht, der derart ausgebildet und steuerbar ist, dass mit dem Krafterzeuger den
- 15 Lorentzkräften entgegenwirkende Kräfte erzeugbar sind, so dass ein Bewegen und Verformen der Struktur verhindert wird.

Figur 1

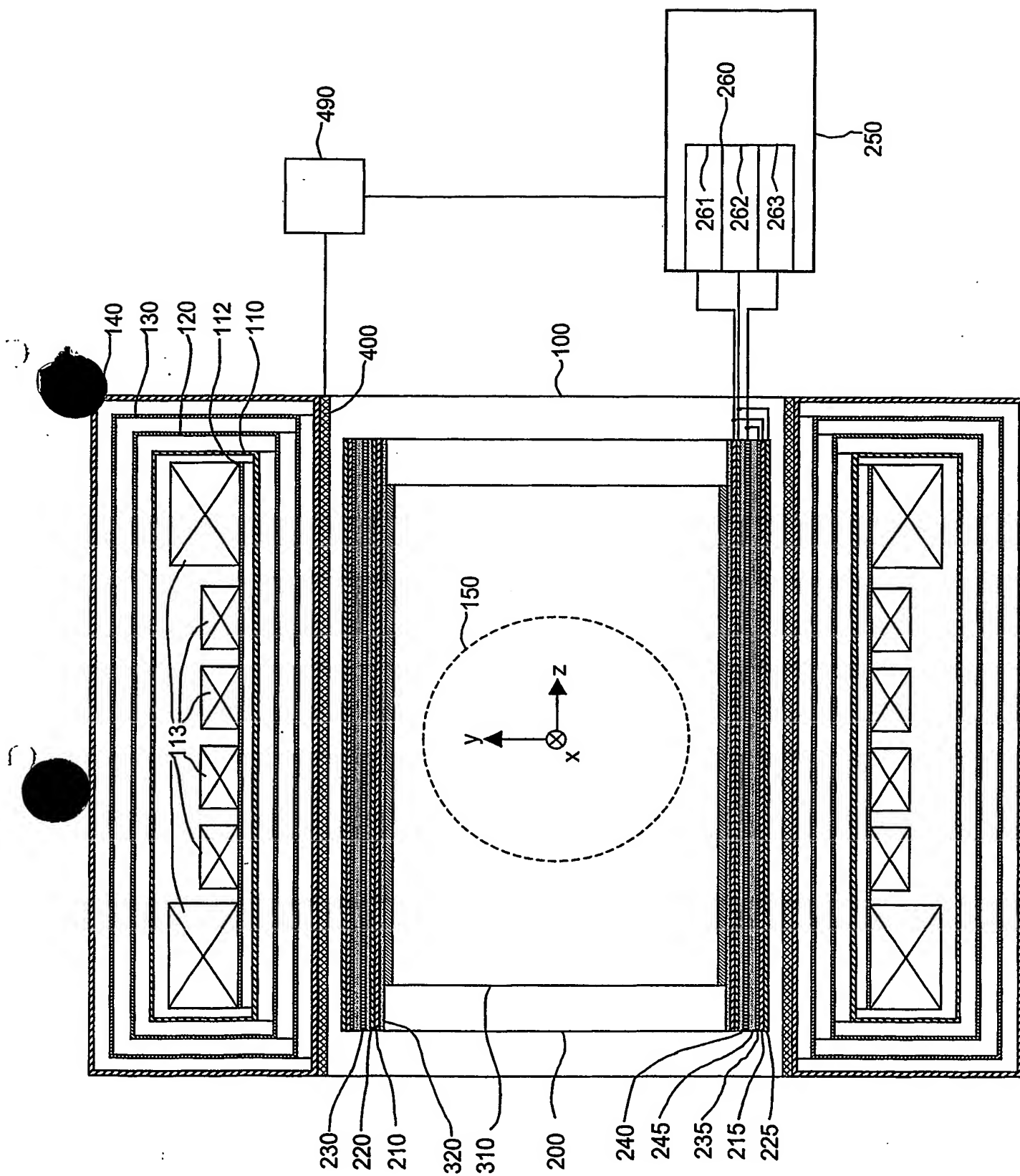


FIG 1

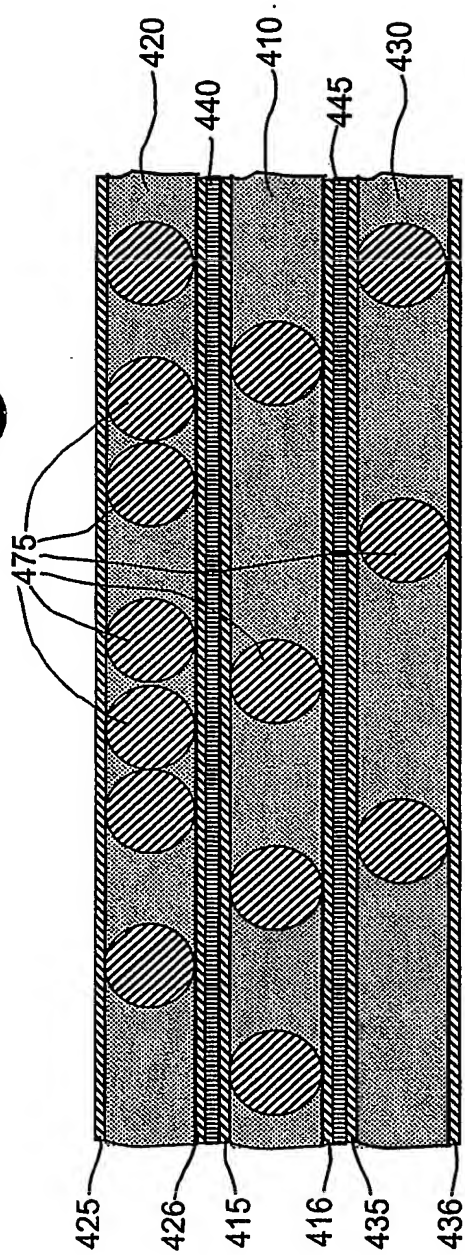


FIG 2

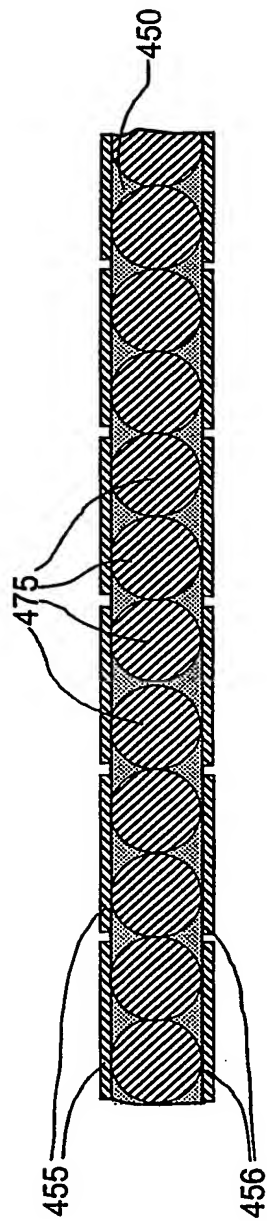


FIG 3

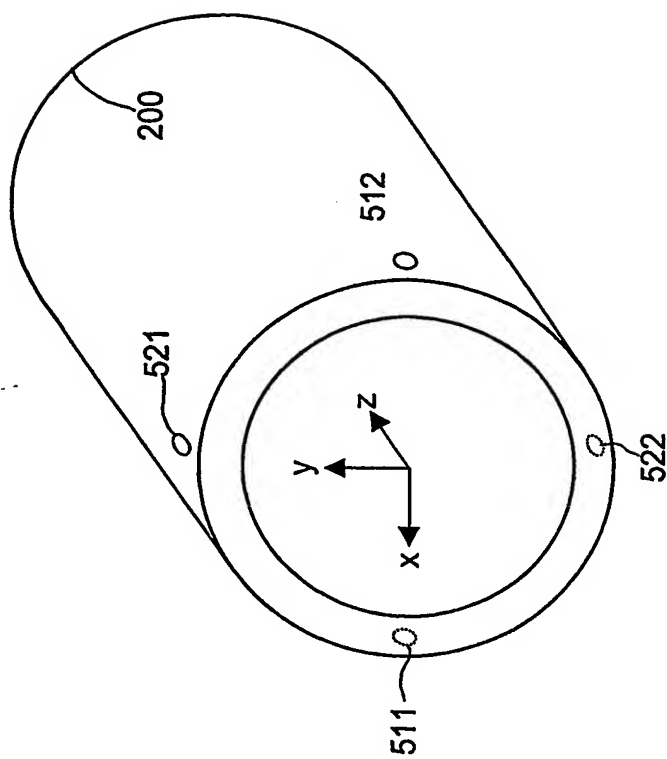


FIG 4

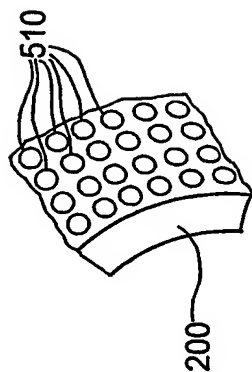


FIG 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☒ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.